

# Intensification agricole en région sahélo-soudanienne

## 1. Itinéraires techniques dans un contexte à risques

Marc Piraux <sup>(1)</sup>, André Buldgen <sup>(2)</sup>, Patrick Steyaert <sup>(2)</sup>, Abdoulaye Dieng <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Adresse actuelle : CIRAD-SAR (Systèmes agroalimentaires et ruraux). Rue J-F Breton, 23. F-34090 Montpellier (France). <sup>(2)</sup> Unité de Zootechnie, Faculté universitaire des Sciences agronomiques. Passage des Déportés, 2. B-5030 Gembloux (Belgique). <sup>(3)</sup> Département des Productions animales, École nationale supérieure d'Agriculture (ENSA). Route de Khombole, BP 296. Thiès (Sénégal).

Reçu le 12 décembre 1996, accepté le 4 mars 1997.

Une expérimentation réalisée en station a comparé, au cours de cinq années consécutives, le système de production agricole traditionnel du Bassin arachidier sénégalais à deux systèmes modernisés, basés sur une étroite synergie entre l'agriculture et l'élevage : système intensifié par la traction bovine et système utilisant la mécanisation lourde. L'expérimentation, réalisée à l'échelle d'une exploitation réelle, s'est déroulée dans des conditions pédoclimatiques représentatives de la région. En procurant fumier et force de travail importante, l'élevage contribue fortement à la réussite des activités agricoles. Les résultats démontrent que les modèles d'intensification proposés ont un effet bénéfique sur la fertilité des sols. Plusieurs options techniques sont proposées en vue de réduire les risques liés aux aléas climatiques. Parmi les principales adaptations retenues dans les systèmes modernisés, on peut citer : la diversification des cultures, la rotation céréales-plantes à cycle court (bissap, niébé), la pratique d'une fumure minérale raisonnée et le choix judicieux des périodes et des modalités de préparation des sols. Les résultats fournissent des référentiels techniques intéressants pour la mise en place de programmes de développement.

**Mots-clés.** Sénégal, Bassin arachidier, agriculture-élevage, intensification, diversification, risques climatiques, itinéraires techniques.

**Intensification of farming in the Sahelian-Sudanese region. 1. Crop management sequence in a risk context.** An experimentation carried out in a station during five consecutive years compared the traditional farming system of the Senegalese groundnut basin to two modernized systems, based on a close synergy between agriculture and livestock productions: a system intensified by draught cultivation (oxen) and a system using heavy motorization. The experimentation, implemented at a real farm scale, has taken place in pedo-climatic conditions representative of the region. By producing manure and an important work force, livestock strongly contributes to the success of farming activities. Results show that the suggested intensification models have a beneficial effect on the soil fertility. Several technical options are put forward aiming at a reduction of the risks linked to climatic hazards. Among the main adjustments considered in the modernized systems, we can mention: crop diversification, rotation between cereals and short duration crops ("bissap", black-eyed cowpeas), planned mineral fertilizer application and judicious selection of growing season and soil tilling procedures. Results provide interesting technical references for setting up development programs.

**Keywords.** Senegal, groundnut basin, agriculture-livestock, intensification, diversification, climatic risks.

## INTRODUCTION

La diminution et les variations interannuelles de la pluviosité, enregistrées dans de nombreuses régions intertropicales, exigent une adaptation continue des systèmes de production. En région sahélo-soudanienne africaine, les diminutions de rendements liées aux perturbations du climat ne permettent pas, dans bien des cas, de subvenir aux besoins alimentaires d'une population rurale sans cesse croissante. Ces éléments, combinés à un environnement économique et institu-

tionnel insécurisant, sont à l'origine d'un déséquilibre des systèmes de production qui engendre une dégradation générale du milieu. Dans ce contexte alarmant, la révision des politiques de développement rural est urgente. Il s'agit à la fois de relancer l'économie du secteur primaire, de freiner l'exode rural et de protéger l'environnement.

Les travaux de recherche présentés ci-après ont été conduits à l'École nationale supérieure d'Agriculture (ENSA) de Thiès (Sénégal) dans la partie la plus occidentale du Bassin arachidier sénégalais (**Figure 1**).

Les terrains expérimentaux appartiennent à une zone agro-écologique où les risques climatiques sont tels que la réussite des cultures pluviales est devenue très aléatoire (Buldgen *et al.*, 1994). Le système agraire, basé sur une alternance arachide – mil – repos temporaire des terres, évolue vers la diminution puis la disparition des superficies consacrées à la jachère (Piroux *et al.*, 1996). Finalement, les petits exploitants sont contraints d'abandonner progressivement l'élevage des bovins, faute de ressources fourragères. Les quantités de matière organique restituées aux sols sont dès lors nettement moindres. Cette adaptation du monde rural conduit à un épuisement des terres. Alliée à la surexploitation des ressources ligneuses, elle a probablement accéléré le processus de désertification qui s'est amorcé au début des années 1970.

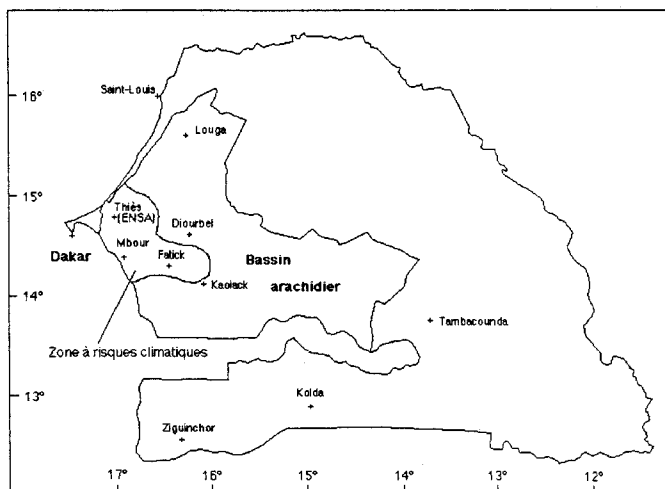
Selon Eldin (1989), le risque agricole en zone sèche est "lié à des événements d'ordre climatique, physique, humain, économique, etc., d'occurrences irrégulières, relativement temporaires et que l'on subit soit parce que l'on ne peut pas faire autrement, soit parce que l'on ne veut pas faire autrement". Dans ce domaine, les expériences à caractère technico-économique réalisées en vraie grandeur pour définir de nouvelles stratégies de développement sont insuffisantes. À l'heure actuelle, il est pourtant indispensable de proposer des systèmes

alternatifs assurant à la fois la sauvegarde de l'environnement et des revenus suffisants aux populations rurales.

L'expérimentation conduite durant cinq campagnes agricoles vise, d'une part, à évaluer les contraintes et les risques techniques et économiques auxquels sont soumis les agro-éleveurs et, d'autre part, à identifier les itinéraires techniques qu'il est possible d'emprunter dans le cadre de systèmes de production davantage intensifiés, basés sur une plus grande intégration entre les activités agricoles et d'élevage. D'emblée, il convient de signaler que le schéma expérimental adopté n'est pas classique car il n'est pas basé sur une comparaison stricte de cultures bien définies au sein d'expériences comportant plusieurs répétitions. De même, le choix du matériel végétal utilisé est entièrement orienté en fonction des résultats de multiples travaux de recherche conduits dans la région et des disponibilités en semences sur les marchés locaux. L'objectif visait à comparer différents systèmes de production et à définir des possibilités d'adaptation et de diversification en fonction des nombreux aléas, notamment climatiques et économiques.

## LA STRATÉGIE DES PAYSANS FACE AU RISQUE

La notion de risque agricole en région sahélo-soudanienne est complexe car elle dépend de plusieurs facteurs qui agissent en interaction. Parmi ceux-ci, le climat se situe évidemment au premier plan. Les quantités de pluies et la répartition des épisodes pluvieux successifs fluctuent énormément au cours des hivernages (Dugué, 1989 ; Junckers *et al.*, 1990 ; Le Houérou, 1992 ; Janicot, Fontaine, 1993). Étant donné qu'aucune périodicité des précipitations n'a été décelée à ce jour (Forest *et al.*, 1991), aucune prévision n'est possible en la matière et toute baisse de la pluviosité provoque une diminution des productions. Cependant, les effets néfastes du climat peuvent être plus ou moins marqués selon l'état du milieu, celui-ci évoluant en fonction des interventions des agriculteurs (Forest *et al.*, 1991). À ce propos, on peut citer par exemple l'accroissement des risques climatiques en présence de sols épuisés. Les problèmes liés à la diminution de fertilité des sols sont connus : acidification, carences prononcées en matière organique, en azote et en phosphore disponible, forte sensibilité aux phénomènes de battance et au ruissellement qui concourent à la dégradation des horizons de surface (Dugué, 1989 ; Piéri, 1989). D'un point de vue technique, ces contraintes peuvent être maîtrisées sans grande difficulté par l'agronome. Dès lors, il s'agirait pour l'agriculteur d'opter en faveur du redressement de la fertilité de ses terres dans le but d'atténuer les effets néfastes des perturbations climatiques.



**Figure 1.** Situation géographique de l'ENSA (École nationale supérieure d'Agriculture) de Thiès au sein du Bassin arachidier sénégalais et de la zone à risque climatique — *Geographical situation of ENSA (National Superior School of Agriculture) of Thiès in the Senegalese groundnut basin and in the high-risk climatic zone.*

Des raisonnements analogues peuvent être proposés au sujet des activités pastorales, de la pratique de l'élevage et de la traction animale ou des actions de reforestation. Dans ces domaines aussi, le paysan devrait être en mesure de minimiser les risques grâce à un choix judicieux d'options techniques. En réalité, les décisions qu'il prend apparaissent parfois, sinon toujours, très différentes. Plusieurs explications sont possibles à cet égard : usufruit temporaire des terres, souci d'auto-suffisance alimentaire, contexte économique et institutionnel insécurisant, insuffisance des moyens techniques et financiers, etc. Tous ces éléments peuvent être évoqués pour expliquer des attitudes, apparemment irrationnelles, qui ne sont pas de nature à enrayer les phénomènes de désertification.

Plusieurs études, dont celles de Dugué (1989) menée au Burkina Faso et de Lombard (1989) dans la partie centrale du Bassin arachidier sénégalais, permettent d'identifier les éléments d'adaptation caractéristiques des stratégies paysannes. On peut citer notamment :

- le souci de minimiser les risques financiers en cultivant un maximum de surface tout en utilisant un minimum d'intrants ;
- la répartition des parcelles dans l'ensemble du finage villageois afin de pallier la distribution aléatoire et irrégulière des pluies au sein du territoire ;
- le désir de semer le plus tôt possible ;
- la mise en culture de champs de case destinés à la culture de mil et bénéficiant d'une grande partie des apports en matière organique, ces champs procurant un "grenier de réserve" important pour la période de soudure alimentaire ;
- la recherche d'activités extra-agricoles en vue d'assurer une source de revenus complémentaires et la migration saisonnière d'une partie de la population villageoise dans le but de limiter le prélèvement des réserves alimentaires (Piroux *et al.*, 1996).

Les décisions prises par les paysans sont aussi conditionnées par les interventions de l'État. Dans le cas du Bassin arachidier, le gouvernement sénégalais a mis en œuvre en 1958 un vaste programme de développement agricole qui a été suspendu en 1980. Dans le cadre de ce programme, un important matériel de traction animale avait été diffusé dans toute la région. Cette action, destinée à améliorer les systèmes de production, a eu un effet pervers. Elle a favorisé une extension des superficies cultivées au détriment des jachères plutôt qu'une intensification des productions (Munzinger, 1982). Les évolutions induites au sein du système traditionnel ont finalement conduit à un appauvrissement extrême des sols (Piéri, 1989 ; Compère *et al.*, 1991a) de sorte que cette adaptation au risque climatique a été à l'origine de nouvelles contraintes. Elle renforce, en outre, la variabilité interannuelle des rendements qui fluctuent au gré des

perturbations du climat (Dugué, 1989 ; Piéri, 1989), une baisse de la pluviosité ayant des répercussions plus prononcées dans un système extensif (Grousiz, Albergel, 1989). Il en résulte d'ailleurs fréquemment des périodes de disette alimentaire pour les populations rurales (Lombard, 1989).

Dans une zone à saturation foncière, telle que la partie centrale du Bassin arachidier, où le nombre d'habitants par kilomètre carré varie entre 61 et 145 (Direction de la Prévision et de la Statistique, 1988), l'accroissement des productions agricoles passe nécessairement par une intensification des systèmes de culture (Piéri, 1989). La solution préconisée par de nombreux auteurs (Benoît-Cattin, 1981 ; Lhoste, 1987 ; Dugué, 1989 ; Piéri, 1989 ; Compère *et al.*, 1991b) consiste à réaliser une intégration des activités agricoles et d'élevage. Cette synergie a été retenue lors de notre expérimentation, en veillant cependant à identifier clairement les thèmes techniques applicables en conditions réelles d'exploitation.

## SYSTÈMES AGRICOLES ET DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

Trois systèmes de production ont été expérimentés pendant cinq campagnes agricoles consécutives allant de 1988 à 1992, à savoir :

- le SET ou système agricole traditionnel qui constitue le témoin. Entièrement consacré aux cultures traditionnelles de la région, le SET a uniquement recours à la traction équine ; il ne prévoit aucun apport de matière organique au sol, la composante élevage y étant négligeable ;
- le SITA ou système intensifié par la traction animale. Ce système utilise la traction bovine (deux bœufs de trait de race Gobra) et un polyculteur à grand rendement pour pouvoir effectuer toutes les opérations culturales et particulièrement le labour ; l'élevage des ruminants y est réalisé de manière semi-intensive grâce à l'aménagement de petits parcs à stabulation libre pouvant accueillir une dizaine de taurillons ;
- le SIM ou système intensifié par la motorisation. Ce système est conçu pour une exploitation de taille plus importante. La composante élevage y est représentée comme dans le SITA (25 taurillons), mais la motorisation est assez développée (tracteurs de 60 CV et 120 CV, charrue réversible, semoir à 4 rangs, récolteuse-hacheuse de fourrages, etc.) ; tous les travaux de récolte, à l'exception des cultures fourragères, sont cependant réalisés manuellement.

Dans le SITA et dans le SIM, deux cycles d'engraissement sont prévus par an. Cependant, le nombre de bovins engraisés peut fortement varier selon les années en fonction des conditions climatiques et donc des disponibilités en sous-produits agricoles.

Le niveau d'intensification au sein des trois systèmes a été choisi de manière à expérimenter des degrés de contraintes très différents et à pouvoir réaliser aisément une simulation des itinéraires techniques a posteriori. C'est ainsi que le SET est d'un caractère plus extensif que le système actuellement en vigueur dans la majeure partie du Bassin arachidier car ce dernier pratique l'épandage de matière organique au moins sur une partie de la superficie agricole utile. La conception du SITA vise à atteindre une situation où les coûts de l'intensification en traction animale et en fumure ont été respectivement maximisés et optimisés dans le contexte économique et climatique de la région. Le SIM représente, quant à lui, une situation extrême où l'intensification agricole est éventuellement envisageable dans le cadre du développement d'un entreprenariat agricole à grande échelle.

Les trois systèmes ont été expérimentés sur une superficie de 20 ha, divisées de la manière suivante : 3 ha réservés au SET, 7 ha au SITA et 10 ha au SIM. La **figure 2** fournit les plans parcellaires et les superficies réservées à la jachère et aux cultures fourragères dans les trois systèmes.

Les éléments novateurs du SITA et du SIM résident non seulement dans l'intensification au moyen de la traction bovine et de la motorisation, mais également dans l'introduction au sein de la rotation d'une culture fourragère temporaire à *Andropogon gayanus* Kunth var. *bisquamulatus*. Les importantes ressources fourragères de grande qualité que cette graminée vivace procure constituent en réalité l'élément clé de toute la filière d'intensification. Par ailleurs, la culture améliore considérablement la fertilité des sols grâce au recyclage annuel d'une biomasse racinaire abondante (Dieng, 1991). C'est pourquoi les superficies consacrées à la culture fourragère dans le SITA et dans le SIM sont dimensionnées de manière à pouvoir nourrir un élevage sédentarisé, capable de produire le fumier nécessaire au redressement de la fertilité des terres. En SITA, cet élevage pourrait consister en dix taurins en plus des deux bœufs de trait et en SIM, 25 taurins à l'engraissement. Pour chaque système, deux cycles d'engraissement sont réalisés par an.

De nombreux chercheurs (Ganry, 1975 ; Pichot *et al.*, 1981 ; Benoît-Cattin, 1981 ; Choppart, 1983 ; Dugué, 1989 ; Piéri, 1989 ; Some, 1989 ; Nicou *et al.*, 1990) ont démontré le rôle favorable de la matière organique sur l'économie en eau et la fertilité des sols, son interaction avec la fumure minérale et la nécessité de réaliser son incorporation au substrat par un labour.

Une des particularités du SITA et du SIM réside également dans l'implantation de lignes brise-vent destinées à recréer un microclimat favorable à la croissance des cultures. La liste des essences utilisées

Système intensifié par la motorisation (SIM) :  
10 ha divisés en 5 parcelles de 2 ha

5	
4 A	4 B
3	
2	
1	

Système intensifié par la traction animale (SITA) :  
7 ha comprenant 6 parcelles de 1 ha et 2 parcelles de 0,5 ha

7	6
5	4
3	2
1A	1B

Système extensif traditionnel (SET) : 6 parcelles de 0,5 ha, soit un total de 3 ha

3 A	3 B
2 A (1)	2 B (1)
1 A (2)	1 B (2)

	Parcelles à <i>Andropogon gayanus</i>
(1)	Jachère naturelle en 1988 et 1989
(2)	Jachère naturelle en 1990 et 1991

**Figure 2.** Plan parcellaire des trois systèmes expérimentés — *Field pattern plan of the three experimented systems.*

comporte par ordre d'importance : *Acacia holosericea* A. Cunn., *Prosopis juliflora* (SW.) DC., *Acacia nilotica* var. *tomentosa* (Benth.) A., *Acacia senegal* (L.) Willd., *Eucalyptus camadulensis* Dehnh., *Acacia raddiana* Savi et *Bauhinia rufescens* Lam.

## LE CONTEXTE PÉDOLOGIQUE

Les différents systèmes cultureux ont été expérimentés sur des formations éoliennes typiques des grands ergs aplanis du Quaternaire, situés au nord et à l'ouest du Sénégal. Ces sols ferrugineux peu ou pas lessivés sont communément appelés "diors". Leur aptitude agricole et pastorale est moyenne (Stancioff *et al.*, 1986).

Au départ de l'expérimentation (en mai 1988), des échantillons de sols ont été prélevés de manière aléatoire sur l'ensemble des terrains expérimentaux et à

**Tableau 1.** Teneurs en carbone (C), en azote (N) et pH en 1988, 1990 et 1992 dans les sols des trois systèmes de production (moyennes  $\pm$  écarts-types) — *Carbon (C) and nitrogen (N) contents and pH of the soils in 1988, 1990 and 1992 in the three farming systems (averages  $\pm$  standard deviations).*

Système	Système extensif traditionnel (SET)		Système intensifié par la traction animale (SITA)		Système intensifié par la motorisation (SIM)	
Profondeur (cm)	0–20	20–40	0–20	20–40	0–20	20–40
<b>pH eau</b>						
1988	5,8 $\pm$ 0,3	5,6 $\pm$ 0,3	5,9 $\pm$ 0,2	5,6 $\pm$ 0,2	5,6 $\pm$ 0,1	5,6 $\pm$ 0,1
1990	5,7 $\pm$ 0,6	5,2 $\pm$ 0,0	6,5 $\pm$ 0,5	5,6 $\pm$ 0,4	6,8 $\pm$ 0,7	5,8 $\pm$ 0,3
1992	5,2 $\pm$ 2,0	5,0 $\pm$ 0,1	6,3 $\pm$ 0,6	5,4 $\pm$ 0,3	6,4 $\pm$ 0,4	5,6 $\pm$ 0,4
<b>pH KCl</b>						
1988	4,6 $\pm$ 0,3	4,3 $\pm$ 0,2	4,8 $\pm$ 0,3	4,5 $\pm$ 0,2	4,6 $\pm$ 0,4	4,4 $\pm$ 0,1
1990	4,7 $\pm$ 0,9	4,0 $\pm$ 0,1	5,6 $\pm$ 0,7	4,4 $\pm$ 0,4	6,2 $\pm$ 1,0	4,7 $\pm$ 0,6
1992	4,3 $\pm$ 1,7	4,1 $\pm$ 0,2	5,5 $\pm$ 0,8	4,4 $\pm$ 0,3	5,7 $\pm$ 0,5	4,6 $\pm$ 0,5
<b>C (%)</b>						
1988	0,17 $\pm$ 0,03	0,09 $\pm$ 0,00	0,18 $\pm$ 0,17	0,17 $\pm$ 0,08	0,24 $\pm$ 0,07	0,16 $\pm$ 0,05
1990	0,27 $\pm$ 0,16	0,18 $\pm$ 0,10	0,50 $\pm$ 0,17	0,37 $\pm$ 0,17	0,51 $\pm$ 0,20	0,36 $\pm$ 0,07
1992	0,22 $\pm$ 0,02	0,16 $\pm$ 0,02	0,30 $\pm$ 0,11	0,17 $\pm$ 0,03	0,25 $\pm$ 0,07	0,17 $\pm$ 0,02
<b>N (%)</b>						
1988	0,02 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,00
1990	0,02 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,00	0,02 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,00
1992	0,03 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,00	0,04 $\pm$ 0,01	0,03 $\pm$ 0,01	0,03 $\pm$ 0,01	0,03 $\pm$ 0,01

**SET** : traditional farming system. **SITA** : intensified farming system by draught cultivation (oxen). **SIM** : intensified farming system using heavy motorization.

des profondeurs situées entre 0–20 et 20–40 cm (**Tableaux 1 et 2**). Selon le diagramme des textures de la FAO, la composition granulométrique en surface traduit la présence d'un horizon sableux, les argiles étant fort peu présentes (comprises entre 5 et 10 %). Cette texture, alliée aux faibles niveaux de matière organique, confère au sol une stabilité structurale médiocre et une battance élevée. La structure superficielle du sol est d'ailleurs de type particulière et entraîne une forte sensibilité à l'érosion. Par ailleurs, entre 0 et 20 cm de profondeur, les résultats renseignent des faibles valeurs de pH KCl (entre 4,2 et 5,1) ainsi que des faibles teneurs en carbone (variant entre 0,1 et 0,3 %) et en azote (inférieures à 0,02 %). Cet état d'extrême pauvreté des sols est confirmé par les teneurs en bases échangeables ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) et en phosphore disponible, qui selon les normes de Landon (1991), apparaissent toutes faibles. Par ailleurs, la capacité d'échange cationique est très faible, car elle est comprise entre 2 et 4 méq par 100 g. L'ensemble de ces valeurs fluctue légèrement avec la topographie ; une légère amélioration des paramètres chimiques des sols au sein de l'horizon superficiel apparaît au niveau des bas-fonds.

Les analyses pédologiques réalisées en 1988 montrent donc bien que l'expérimentation a été

conduite sur des sols pratiquement épuisés et typiques de la région (Zante, 1982 ; Choppart, 1983 ; Dugué, 1989 ; Piéri, 1989). L'étude des profils effectuée à la même époque indique en outre que les sols rencontrés au niveau des trois systèmes sont peu différenciés sur le plan pédogénétique.

## LES CONDITIONS CLIMATIQUES

Dans la région de Thiès, la saison des pluies (hivernage) démarre normalement en juin-juillet et finit en septembre-octobre. La saison sèche débute par une période froide qui s'étend jusqu'en février-mars. Elle est suivie par une période chaude qui s'étale généralement de mars à juin. La pluviométrie moyenne annuelle établie pour la station climatologique de Thiès de 1966 à 1991 s'élève à  $440 \pm 142$  mm (médiane à 409 mm). Le nombre moyen de jours de pluie atteint  $38 \pm 10$  jours, mais la répartition des épisodes pluvieux au cours de l'hivernage est très irrégulière. L'évaporation annuelle totale, quant à elle, dépasse largement 2 000 mm. Le **tableau 3** fournit les principales caractéristiques des hivernages durant lesquels l'expérimentation s'est déroulée. L'installation de la saison des pluies est définie comme étant la date du dernier jour de pluie à laquelle la pluviométrie

**Tableau 2.** Situation en 1988 (moyennes  $\pm$  écarts-types) et différences des moyennes entre 1992 et 1988 pour le phosphore disponible (P disp.), les cations échangeables (éch.) et la somme des bases ( $\Sigma$ ) dans les trois systèmes de production — *Situation in 1988 (averages  $\pm$  standard deviations) and average differences between 1992 and 1988 for available phosphorus (P disp.), exchangeable cations (éch.), sum of bases ( $\Sigma$ ) in the three farming systems.*

Profondeur (cm)	Année 1988		Différences en 1992	
	0-20	20-40	0-20	20-40
<b>Système extensif traditionnel (SET)</b>				
P disp. (mg/100 g)	0,30 $\pm$ 0,10	0,20 $\pm$ 0,10	+ 0,95	+ 0,75
Ca <sup>++</sup> éch. (méq/100 g)	1,73 $\pm$ 0,37	1,56 $\pm$ 0,35	- 0,28	- 0,51
Mg <sup>++</sup> éch. (méq/100 g)	0,43 $\pm$ 0,08	0,40 $\pm$ 0,12	- 0,01	- 0,09
K <sup>+</sup> éch. (méq/100 g)	0,03 $\pm$ 0,00	0,03 $\pm$ 0,00	+ 0,01	+ 0,00
Na <sup>+</sup> éch. (méq/100 g)	0,01 $\pm$ 0,01	0,01 $\pm$ 0,01	+ 0,03	+ 0,03
$\Sigma$ (méq/100 g)	2,21 $\pm$ 0,45	2,01 $\pm$ 0,48	- 0,24	- 0,58
<b>Système intensifié par la traction animale (SITA)</b>				
P disp. (mg/100 g)	0,54 $\pm$ 0,15	0,31 $\pm$ 0,04	+ 1,10	+ 0,51
Ca <sup>++</sup> éch. (méq/100 g)	1,85 $\pm$ 0,90	1,65 $\pm$ 0,95	+ 0,94	- 0,13
Mg <sup>++</sup> éch. (méq/100 g)	0,49 $\pm$ 0,25	0,41 $\pm$ 0,24	- 0,02	+ 0,02
K <sup>+</sup> éch. (méq/100 g)	0,04 $\pm$ 0,02	0,03 $\pm$ 0,01	+ 0,07	+ 0,02
Na <sup>+</sup> éch. (méq/100 g)	0,01 $\pm$ 0,00	0,01 $\pm$ 0,00	+ 0,03	+ 0,02
$\Sigma$ (méq/100 g)	2,38 $\pm$ 1,17	2,10 $\pm$ 1,20	+ 1,04	- 0,07
<b>Système intensifié par la motorisation (SIM)</b>				
P disp. (mg/100 g)	0,58 $\pm$ 0,30	0,60 $\pm$ 0,48	+ 0,71	+ 0,15
Ca <sup>++</sup> éch. (méq/100 g)	1,97 $\pm$ 1,11	2,40 $\pm$ 1,18	+ 1,02	- 0,63
Mg <sup>++</sup> éch. (méq/100 g)	0,61 $\pm$ 0,37	0,62 $\pm$ 0,37	- 0,13	- 0,14
K <sup>+</sup> éch. (méq/100 g)	0,03 $\pm$ 0,00	0,03 $\pm$ 0,00	+ 0,08	+ 0,03
Na <sup>+</sup> éch. (méq/100 g)	0,02 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,01	+ 0,01	+ 0,01
$\Sigma$ (méq/100 g)	2,62 $\pm$ 1,49	3,07 $\pm$ 1,56	+ 0,98	- 0,72

**Tableau 3.** Caractéristiques des cinq saisons des pluies au cours desquelles l'expérimentation a été réalisée — *Characteristics of the five rainfall seasons during which the experiment has been conducted.*

Année	Quantité de pluie (mm)	Répartition des épisodes pluvieux	Nombre de jours de pluie	Épisode sec (jours) <sup>(1)</sup>	Date de début des pluies	Date de fin des pluies
1988	515	Mauvaise	24	15	12 juillet	18 septembre
1989	570	Bonne	29	10	13 juin	7 octobre
1990	437	Moyenne	29	8	15 juillet	6 octobre
1991	249	Mauvaise	21	14	16 août	26 septembre
1992	365	Moyenne	27	20	14 juillet	7 octobre
Moyennes	427		26	13		

(1) Épisode sec le plus long enregistré au cours de la saison des pluies.

cumulée sur trois jours atteint 20 mm ou plus ; ceci, pour autant que cette date ne soit pas suivie pendant les trente jours suivants par une période sèche de plus de sept jours (Sivakumar, 1991). L'examen du tableau montre clairement que le déroulement de l'hivernage est extrêmement variable selon les années, ce qui entraîne évidemment d'importantes répercussions sur le déroulement des campagnes agricoles. Si on se base sur la quantité de pluie et sa répartition au cours de l'hivernage, les différentes campagnes expérimentales peuvent être classées comme suit : très bonne (1989), moyennes (1988 et 1990), mauvaise (1992), et très mauvaise (1991).

En comparant les conditions climatiques de ces années à celles régnant en moyenne dans la région, on constate que l'expérience s'est bien déroulée au cours d'années représentatives de la zone agro-écologique à risque climatique définie au sein du Bassin arachidier sénégalais (Buldgen *et al.*, 1994).

## OPÉRATIONS CULTURALES ET ROTATIONS

Les opérations culturales décrites ci-après n'ont pas été réalisées de manière systématique au cours du temps. Dans des conditions réelles d'exploitation, le choix d'itinéraires techniques implique en effet une adaptation continue, en fonction des conditions climatiques et des résultats obtenus à l'issue de chaque campagne d'exploitation.

La politique retenue en matière de fumure organique consiste à enfouir 10 tonnes de poudrette de parc par ha tous les deux ans sur la moitié de la surface réservée aux cultures annuelles dans le SITA et 12,5 tonnes dans le SIM. Cette dose correspond à un compromis entre l'efficacité agronomique des apports sous forme de fumure organique (Pichot *et al.*, 1981 ; Cissé, 1986) et les possibilités de productions animales dans les systèmes intensifiés (Compère *et al.*, 1991b).

Au départ de l'expérimentation en SITA et en SIM, en 1988, le relèvement du pH des terres a été réalisé à partir d'un enfouissement de 2 tonnes de calcaire broyé, à action lente, dosant 97 % de  $\text{CaCO}_3$ . Une tonne de calcaire par hectare a également été épandue avant labour en 1992 comme dose d'entretien.

Dans le SET, le tiers de la superficie est réservé pendant deux ans à une jachère naturelle. Les travaux du sol sont réalisés de manière à simuler au mieux les opérations culturales pratiquées en milieu rural. Les résidus de culture sont brûlés au champ si nécessaire. Seule la culture d'arachide est précédée d'un simple grattage du sol. Les opérations de semis sont réalisées au moyen de la traction équine. Le sarclage est effectué en traction ou manuellement, selon les stades de développement des cultures.

En principe, un labour de l'ensemble de la superficie consacrée aux cultures annuelles est prévu chaque année en SITA et en SIM.

Au cours des deux premières campagnes expérimentales, les rotations ont été effectuées au moyen de mil et d'arachide, qui constituent les deux principales productions traditionnelles. À moyen terme, l'étude s'est orientée vers la diversification en introduisant dans les assolements d'autres cultures, pratiquées ou non dans la région : niébé, maïs, sorgho, manioc, sésame et oseille de Guinée ou bissap (*Hibiscus sabdariffa* L.).

La fumure minérale a été raisonnée en fonction des exportations des différentes cultures. Elle a été réalisée à partir des engrais disponibles sur les marchés locaux. D'une manière générale, la politique retenue peut être résumée comme suit :

- application d'une fumure de fond sous forme d'engrais 8-18-27 sur l'ensemble des parcelles du SITA (100 kg par ha) et du SIM (200 kg par ha) ;
- apport fractionné d'urée (46 % d'azote) à raison de 100 à 200 kg par ha pour le SITA et de 200 à 300 kg pour le SIM selon les cultures, excepté pour les légumineuses où l'apport d'urée est négligeable ;
- utilisation de faibles doses d'engrais dans le SET lors d'années favorables.

Enfin, des traitements phytosanitaires ont été appliqués en fonction des nécessités, quel que soit le système. Par ailleurs, aucun traitement herbicide n'a été appliqué en raison du coût élevé des produits sur les marchés locaux.

## RÉSULTATS

### Évolution des paramètres de fertilité physique et chimique des sols

En 1990 et en 1992, de nouveaux échantillons de sol ont été prélevés à la tarière. Les résultats des analyses figurent aux **tableaux 1** et **2**.

Quel que soit le système, les conditions climatiques influencent fortement la dynamique d'accumulation et de minéralisation de la matière organique du sol au niveau de l'horizon superficiel. En effet, le taux moyen de C du sol ne diminue pas au cours de l'année favorable (1988), ce qui n'est pas le cas durant l'année médiocre (1990). L'augmentation des teneurs en carbone résulte en grande partie de la production de biomasse racinaire qui est favorisée à la fois par une bonne pluviosité et par l'épandage plus important d'engrais minéraux dans les systèmes durant les années favorables. Par contre, lorsque les conditions climatiques sont moins bonnes, la minéralisation de la matière organique prédomine. Elle se traduit, notamment en 1992, par une augmentation systématique des teneurs en azote. Durant ces années, la topographie, qui privilégie l'apport d'eau dans les bas-fonds, permet à

leur niveau une production accrue en biomasse racinaire. Dès lors, les teneurs en carbone des sols s'y stabilisent.

Dans le système traditionnel (SET), la culture continue accentue les problèmes d'acidité au niveau des deux profondeurs de prélèvement. Elle provoque également une diminution de la moyenne de la somme des bases ( $\Sigma$ ) et surtout des teneurs en  $\text{Ca}^{++}$  échangeable, excepté dans les bas-fonds. Seules les teneurs en phosphore disponible augmentent de façon appréciable du fait de l'utilisation d'engrais minéraux. Par contre, la mise en jachère assure une stabilisation du pH. Elle favorise aussi une augmentation de la teneur en C du sol qui est d'autant plus importante que les saisons pluvieuses sont favorables.

Dans les systèmes modernisés, les techniques utilisées ont permis une amélioration de la structure du sol. Les observations ont montré que celle-ci évolue d'une structure particulière vers une structure fragmentaire de type polyédrique. Du point de vue de la fertilité chimique, les valeurs de pH KCl sont améliorées en 1990 dans l'horizon superficiel (de 4,8 à 5,5 en SITA), grâce aux amendements en carbonate de calcium. En 1992, ces valeurs se stabilisent. Les teneurs en carbone, qui augmentent également de façon appréciable lors des deux premières années (de 0,18 à 0,50 %), subissent par contre une diminution assez nette au cours des deux années suivantes (0,30 % en SITA et 0,25 % en SIM en 1992). Quoi qu'il en soit, les teneurs moyennes en carbone mesurées en 1992 en SITA représentent à peu près le double des valeurs d'origine alors que celles en SIM sont équivalentes. Au niveau des horizons superficiels, on assiste également à une augmentation des cations échangeables, de la somme des bases ainsi qu'à une hausse plus marquée du phosphore disponible. En surface, le taux de saturation évolue de 60 % en SET à plus de 90 % en SITA et en SIM. Par ailleurs, le ruissellement semble mieux maîtrisé car l'évolution des différents paramètres (C, N, cations) apparaît plus homogène au sein des diverses unités topographiques, ce qui n'était pas le cas pour le SET. À ce sujet, le travail du sol et la culture fourragère à *Andropogon gayanus* jouent un rôle capital. Pour cette culture, les résultats montrent aussi que le recyclage d'une importante biomasse racinaire améliore les conditions de fertilité chimique dans des proportions identiques aux parcelles bénéficiant de l'apport bisannuel de 10 à 15 tonnes de fumier.

### Les adaptations techniques : rotations, assolements et opérations culturales

La synthèse présentée au **tableau 4** décrit les rotations et les assolements réalisés dans les différents systèmes au cours des cinq années expérimentales. Trois phases

d'adaptation successives peuvent être mises en évidence.

En 1988, l'expérimentation a porté dans les trois systèmes sur deux cultures traditionnelles : le mil et l'arachide. La même année, des cultures fourragères d'*Andropogon gayanus* et de mil ont été réalisées en SIM. Par ailleurs, suite à des problèmes techniques (défectuosités du polyculteur qui a dû subir plusieurs améliorations), 2 ha du SITA (parcelles 2 et 3) n'ont pas pu être emblavés. La maîtrise technique de l'intensification au moyen de la traction bovine a donc exigé une certaine période d'adaptation.

À partir de 1989, d'importantes superficies ont été consacrées à la diversification des cultures : maïs et sorgho en SITA et en SIM, niébé dans les trois systèmes. Par ailleurs, la culture fourragère améliorante à *Andropogon gayanus* a été introduite en SITA.

Dès 1990, la culture d'arachide n'a plus été effectuée dans les systèmes améliorés, en raison des faibles rendements obtenus au moyen des variétés sélectionnées pour leur précocité. Le SITA s'est alors très nettement orienté vers une rotation céréales-cultures à cycle court (bissap, niébé). En SIM, les cultures de céréales destinées à la production de fourrage ont pris de l'extension. Cela résulte, d'une part, des conditions climatiques peu favorables ou désastreuses qui ont régné à partir de 1990 et, d'autre part, des besoins en ressources fourragères nécessaires à l'entretien du cheptel. La culture bisannuelle de manioc a également été installée en SITA et en SET. Dans le SITA, cette culture facilite la réalisation des labours de début de cycle, car le bouturage est effectué en milieu d'hivernage et la récolte a lieu en fin de saison sèche au cours des deux années suivantes.

D'une manière générale, les proportions entre les cultures vivrières et de rente et les superficies fourragères ont été respectées tout au long de l'expérimentation, excepté pour la jachère bisannuelle du SET qui n'a pas fourni les augmentations de rendement escomptées lors de la remise en culture des terrains.

Les **tableaux 5** et **6** résument l'ensemble des opérations culturales dans les différents systèmes et illustrent les itinéraires techniques suivis lors des diverses campagnes. En SITA, l'enfouissement de la matière organique a pu être effectué tous les deux ans. La préparation des terres a toutefois été adaptée en fonction du déroulement de la saison des pluies :

- un labour a été effectué en tout début de cycle lors de pluies précoces, en veillant à respecter le cycle des cultures ;
- le labour a eu lieu après le début d'hivernage (à l'issue des premières précipitations importantes) pour les cultures à cycle court telles que le niébé et le bissap, lors de l'installation du manioc, ou encore lors du semis de la culture fourragère à *Andropogon gayanus*, opérations qui sont réalisées fin juillet ou début août.



**Tableau 4.** Rotations et assolements adoptés au cours des cinq années expérimentales — *Crop rotations and cropping plans adopted during the five experimental years.*

Systèmes	Parcelles	1988	1989	1990	1991	1992
Système extensif traditionnel (SET)	1 A	mil	arachide	mil var. IBV8004	arachide var. 55-437	mil
	1 B		niébé	bissap	mil	sésame
	2 A	arachide	mil	jachère	jachère	bissap
	2 B					arachide
	3 A	jachère	jachère	arachide	bissap	bissap
	3 B			manioc	manioc	manioc
Système intensifié par la traction animale (SITA)	1 A	mil	sorgho	bissap	bissap	manioc
	1 B		var. CE151	manioc	manioc	niébé
	2	jachère	<i>A. gayanus</i>	<i>A. gayanus</i>	<i>A. gayanus</i>	<i>A. gayanus</i>
	3	jachère	<i>A. gayanus</i>	<i>A. gayanus</i>	<i>A. gayanus</i>	<i>A. gayanus</i>
	4	mil	arachide	maïs var. JDB	bissap	mil
	5	mil	niébé	sésame	mil	bissap
	6	arachide	maïs var. JD8	mil var. IBV 8004	sésame	mil
	7	arachide	mil	sorgho var. CE151	niébé	mil
Système intensifié par la motorisation (SIM)	1	<i>A. gayanus</i>	<i>A. gayanus</i>	<i>A. gayanus</i>	<i>A. gayanus</i>	niébé
	2	mil en fourrage	niébé var. Bambey 21	<i>A. gayanus</i>	<i>A. gayanus</i>	<i>A. gayanus</i>
	3	mil	arachide	maïs fourrager var. Early Thai	sorgho var. CE90	<i>A. gayanus</i>
	4 A	arachide	maïs var. Early Thai	sorgho var. CE151	mil	bissap
	4 B		sorgho var. CE90			
	5	arachide	mil	sorgho var. CE90	mil	mil

Quand les variétés ne sont pas renseignées dans le tableau, il s'agit, pour le mil, de Souna III ; pour l'arachide, de 73-30 ; pour le niébé, de Mougne ; pour le bissap, d'une variété locale et pour le manioc, de Soya.

À partir de 1990, une préparation du sol en sec a été introduite dans le SITA. Le travail est réalisé au moyen d'un coutrier mis au point par le CIRAD et utilisable en traction bovine. Cet engin disloque la couche arable dure et compactée sur une profondeur d'environ 20 cm. L'opération améliore fortement l'infiltration des eaux et limite ainsi les problèmes d'érosion par ruissellement qui se produisent lors de premières pluies violentes. Ce

procédé autorise aussi un labour ou un semis plus précoces (Le Thiec, 1992). Lors de nos travaux, une excellente préparation du sol a été obtenue en jumelant deux dents côte à côte à une distance de 30 cm. Dans ces conditions, l'effort de traction est très important, ce qui limite les temps de travaux à 2 ou 3 heures par jour. Les chantiers doivent donc démarrer suffisamment tôt avant le début de l'hivernage.

**Tableau 5.** Opérations culturales réalisées au cours des différentes années dans les trois systèmes (cultures traditionnelles et *Andropogon gayanus*) — *Cultivation operations performed during the experiment in the three systems (traditional crops and Andropogon gayanus)*.

Systèmes	Système extensif traditionnel (SET)		Système intensifié par la traction animale (SITA)			Système intensifié par la motorisation (SIM)		
Cultures	Mil	Arachide	Mil	Arachide	A . <i>gayanus</i>	Mil	Arachide	A . <i>gayanus</i>
<b>1988</b>								
M.O. (t/ha) (1)						12,5	12,5	
Labour (2)						d c	d c	d c
Fumure N-P-K (U/ha)			83-31-47	20-45-67		108-36-54	16-36-54	69-0-0
Nombre de sarclages	2	3	2	3		1	1	1
Attaques parasitaires	invasion générale de criquets pèlerins sur toutes les spéculations							
<b>1989</b>								
M.O. (t/ha)			10				12,5	
Labour			d c, f c	f c	m c		d c	
Fumure N-P-K (U/ha)	23-0-0	0-0-24	104-32-49	0-0-48	54-18-27		0-0-96	169-45-67
Nombre de sarclages	3	4	1	2	2		3	
Attaques parasitaires	<i>Striga</i>							
<b>1990</b>								
Fumure N-P-K (U/ha)	46-0-0	8-18-27	108-36-54		108-36-54			208-54-81
Nombre de sarclages	3	4	2					
Attaques parasitaires		pucerons			sautériaux			sautériaux
<b>1991</b>								
Chisel						d c		
Travail en sec			+					
Fumure N-P-K (U/ha)			54-18-27		64-36-54	64-36-54		64-36-54
Nombre de sarclages	2	2	2			1		
Attaques parasitaires	<i>Raghuva</i>		<i>Raghuva</i>			<i>Raghuva</i>		
<b>1992</b>								
M.O. (t/ha)						12,5		
Labour						d c		
Travail en sec			+					
Fumure N-P-K (U/ha)			64-36-54		39-9-14	64-36-54		54-18-27
Nombre de sarclages	2	2	2			2		
Attaques parasitaires	<i>Amsacta</i>		<i>Amsacta</i>			<i>Amsacta</i>		

(1) M.O. = matière organique.

(2) d c, m c, f c : labours de début, milieu et fin de cycle respectivement.

Dans le SIM, le labour a été réalisé en début de cycle avec un tracteur sur l'ensemble de la superficie. L'enfouissement de la matière organique a eu lieu tous les deux ans. Lors d'années climatiques défavorables, un chiselage a toutefois permis d'accélérer les travaux dans certaines parcelles pour lesquelles l'incorporation de matière organique n'était pas programmée. Le labour en sec n'a pas été réalisé dans le but d'éviter la destruction de la structure du sol et les risques d'érosion résultant de cette opération (Piéri, 1989).

Les **tableaux 5** et **6** montrent que la fumure minérale a été adaptée en fonction du déroulement de la saison des pluies. En années défavorables, elle n'a pas

été appliquée en SET et elle a été réduite au minimum en SITA et en SIM. Pour la culture fourragère à *Andropogon gayanus*, la fumure n'a pas été appliquée certaines années alors que la pluviosité était suffisante. Il s'agit des années d'installation de la culture au cours desquelles la graminée produit très peu. En 1992, les apports d'engrais à cette culture ont été particulièrement réduits en SITA et en SIM ; les conditions climatiques de l'année précédente ayant été désastreuses, un grand nombre de souches avaient en effet disparu suite à une exploitation intensive.

À propos de l'entretien des parcelles, le premier sarclage est réalisé de manière mécanique dans tous les

**Tableau 6.** Opérations culturales réalisées au cours des différentes années dans les trois systèmes pour les cultures de diversification — *Cultivation operations performed during the experiment in the three systems for diversification crops.*

	Système extensif traditionnel (SET)		Système intensifié par la traction animale (SITA)					Système intensifié par la motorisation (SIM)			
<b>1989</b>											
Cultures	niébé		niébé	sorgho	maïs	sésame	manioc	bissap	sorgho	maïs	mil four.(3)
M.O. (t/ha) (1)				10	10						
Labour (2)				d c, d f	d c, d f				d c	d c	d c
Chisel			d c								
Travail en sec											
Fumure N-P-K (U/ha)	0-0-24		16-36-54	108-36-54	108-36-54				119-36-54	119-36-54	119-36-54
Nombre de sarclages	4		3	2	1				1	1	
Attaques parasitaires	attaque générale de criquets pèlerins sur toutes les spéculations et les systèmes										
<b>1990</b>											
Cultures	bissap	manioc	niébé	sorgho	maïs	sésame	manioc	bissap	sorgho	sorgho four.	maïs four.
M.O. (t/ha)						10	10		12,5	12,5	
Labour						d c	d c		d c	d c	d c
Chisel											
Travail en sec											
Fumure N-P-K (U/ha)	8-18-27	8-18-27		108-36-54	108-36-54	54-18-27	8-18-27	16-36-54	16-36-54	108-36-54	108-36-54
Nombre de sarclages	2	2		2	2	2	2	2		1	1
Attaques parasitaires				chenilles mineuses moisissures des grains					pucerons moisissures		
<b>1991</b>											
Cultures	bissap	manioc	niébé	sorgho	maïs	sésame	manioc	bissap	sorgho		
M.O. (t/ha)			10			10		10	12,5		
Labour			m c			m c		m c	d c		
Chisel											
Travail en sec			+			+		+			
Fumure N-P-K (U/ha)		8-18-27	8-18-27			8-18-27	8-18-27	8-18-27	64-36-54		
Nombre de sarclages	2	1	1			2	1	2	1		
Attaques parasitaires			pucerons								
<b>1992</b>											
Cultures	bissap	manioc	niébé	sorgho	maïs	sésame	manioc	bissap	bissap		
M.O. (t/ha)								10	12,5		
Labour								m c	d c		
Chisel											
Travail en sec								+	+		
Fumure N-P-K (U/ha)		8-18-27					8-18-27	16-36-54	8-18-27		
Nombre de sarclages	2	2					2	2	2		

(1) M.O. = matière organique ; (2) d c, m c, f c : labours de début, milieu et fin de cycle respectivement ; (3) four. = fourrager.

systèmes et pour toutes les cultures. Il est suivi d'un sarclage manuel qui permet, notamment, le démariage du mil. Selon les productions et le développement de la végétation, un dernier sarclage mécanique peut être envisagé. La culture d'*Andropogon gayanus* constitue une exception à cette règle, puisqu'elle requiert uniquement un ou deux sarclages manuels en première année. Les années suivantes, la reprise très précoce de la végétation empêche le développement des adventices lorsque le taux de recouvrement est suffisant.

Chaque année, de nombreuses parcelles ont subi des attaques de ravageurs ou de parasites et des traitements ont dû être réalisés. Il s'agit de pucerons sur légumineuses (surtout lors de labours tardifs qui entraînent un développement juvénile des cultures dans des conditions d'humidité et de chaleur excessives), de larves de lépidoptères sur céréales (*Raghuva* sp., *Amsacta moloneyi* Drc.), de moisissures du grain sur les variétés de sorgho sensibles, de *Striga hermonthica* (Del.) Benth. dans les cultures de mil dans le SET, d'attaques généralisées de criquets pèlerins et de sautériaux (sauterelles vivant en groupe et à migrations limitées) pour toutes les cultures en 1988 et de dégâts moins importants les années suivantes et, enfin, d'attaques systématiques des céréales par des oiseaux granivores. Les trois systèmes ont été touchés, à l'exception des invasions de *Striga* qui sont caractéristiques des systèmes extensifs réalisés sur sols sableux complètement épuisés (SET).

## CONCLUSIONS

L'expérimentation, conduite en conditions d'exploitation les plus réelles possible, s'est déroulée dans un contexte pédoclimatique représentatif de la région. Le milieu édaphique apparaît fortement dégradé suite aux conditions extensives de production auxquelles ont été soumises les terres avant la mise en œuvre des expérimentations. Par ailleurs, les écarts pluviométriques enregistrés au cours des cinq années expérimentales reflètent parfaitement le risque climatique auquel sont soumis les agriculteurs de la région.

Les itinéraires techniques qui ont été suivis lors de notre expérimentation montrent que, même dans ces conditions, une intégration plus judicieuse des bovins aux activités agricoles apporte une amélioration de la fertilité physique et chimique des sols.

Les schémas élaborés en SITA et en SIM au départ de l'expérimentation ont dû être modifiés au cours des campagnes agricoles successives car la maîtrise de plusieurs facteurs techniques (polyculteur, attelage, installation de la culture fourragère temporaire, etc.) requiert du temps et de l'expérience. Plusieurs contraintes techniques sont donc étroitement liées aux systèmes qui ont été expérimentés. A ce propos, les différentes marges de manœuvre qui ont été identifiées

concernent aussi bien le domaine stratégique (notamment par l'élimination des variétés qui réagissent mal à l'intensification ou par la diversification des productions) que les adaptations tactiques. Les itinéraires techniques ont, en effet, été constamment réadaptés en fonction des conditions climatiques rencontrées durant le déroulement des campagnes agricoles. Tel a été le cas pour l'adaptation des fumures minérales, pour la modification des assolements ainsi que pour la préparation du sol qui doit s'effectuer de manière à ne pas compromettre le bon déroulement du cycle des cultures ou des chantiers de récolte. A l'avenir, la recherche opérationnelle visant à minimiser les coûts de production et à optimiser l'utilisation de l'eau, par exemple au moyen de techniques efficaces de préparation des terres, devrait être davantage encouragée.

Si, d'un point de vue strictement agronomique, les systèmes intensifiés donnent pleinement satisfaction, ils requièrent toutefois un investissement non négligeable pour des exploitations dont les moyens financiers sont extrêmement limités. Les interventions doivent donc être réfléchies en fonction de la situation socio-économique propre à chaque unité agricole car, dans un contexte climatique très incertain, ces charges supplémentaires induisent un risque économique qu'il convient d'évaluer. Ces points seront discutés dans la synthèse consacrée à l'analyse des rendements et des résultats économiques, qui fera l'objet de l'article qui suit.

## Remerciements

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet intitulé : "Appui au Département des Productions Animales à l'ENSA (Thiès, Sénégal)". Les auteurs remercient l'Administrateur général de la Coopération au Développement en Belgique et le Directeur de l'ENSA qui ont encouragé cette recherche.

## Bibliographie

- Benoît-Cattin M (1981). "Les unités expérimentales du Sénégal", pp. 1-500. ISRA.CIRAD.FAC., Montpellier, France.
- Buldgen A, Piraux M, Compère R (1994). Sécheresse dans le Bassin arachidier sénégalais. Analyse SIG des nouvelles zones agro-écologiques et de certaines productions à risque. *Sécheresse* 1 (5), 51-56.
- Choppart JL (1983). Étude du système racinaire du mil (*Pennisetum typhoides*) dans un sol sableux du Sénégal. *Agron. Trop.* 38 (1), 37-46.
- Cissé L (1986). Étude des effets d'apports de matière organique sur les bilans hydriques et minéraux et la production du mil et de l'arachide sur un sol sableux dégradé du centre - nord du Sénégal. Thèse Doct. Sci.

- agron., Institut national polytechnique de Lorraine, Nancy, France.
- Compère R, Buldgen A, Lemal D (1991a). La jachère de courte durée du Bassin arachidier sénégalais. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* 25 (3), 357-372.
- Compère R, Buldgen A, Steyaert P, Hellemans P (1991b). Maintien et restauration de la fertilité des sols en région sahélo-soudanienne sénégalaise par une association rationnelle des activités d'élevage et d'agriculture. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* 26 (1), 153-167.
- Dieng A (1991). Introduction de la culture fourragère temporaire d'*Andropogon gayanus* Kunth. var. *bisquamulatus* dans la ferme intensifiée du Bassin arachidier sénégalais. Thèse Doct. Sci. agron., Fac. univ. Sci. agron., Gembloux, Belgique.
- Direction de la Prévision et de la Statistique (1988). "Les principaux résultats provisoires du recensement de la population de l'habitat du Sénégal". RGPH, Dakar, Sénégal.
- Dugué P (1989). "Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture vivriers en zone soudano-sahélienne. Le cas du Yatenga. (Burkina Faso)", pp. 1–259. Documents Systèmes Agraires n° 9. CIRAD-SAR, Montpellier, France.
- Eldin M (1989). Du risque de sécheresse au risque de mauvaise récolte : un effort de clarification des concepts. In "Le risque en agriculture" (M. Eldin, P. Milleville, eds.), pp. 19-178. ORSTOM, Paris.
- Forest F, Reyniers FN, Lidon B (1991). Prendre en compte le risque climatique et le coût de l'intensification pour analyser la faisabilité de l'innovation : cas de la zone soudano-sahélienne. In "Savanes d'Afrique, terres fertiles" (C. Piéri, ed.), pp. 531-542. CIRAD, Montpellier, France.
- Ganry F (1975). "Importance des enfouissements de matière organique dans l'amélioration des systèmes cultureux au Sénégal". CNRA, Bambey, Sénégal.
- Grousiz M, Albergel J (1989). Du risque climatique à la contrainte écologique. Incidence de la sécheresse sur les productions végétales et le milieu au Burkina Faso. In "Le risque en agriculture" (M. Eldin, P. Milleville, eds.), pp. 243-254. ORSTOM, Paris.
- Janicot S, Fontaine B (1993). L'évolution des idées sur la variabilité interrannuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest. *Météorologie* 8 (1), 28-53.
- Junckers E, Forest F, Reyniers FN (1990). Climat et production agricole au Sahel. In "Le développement agricole au Sahel. Tome I. Milieux et défis" (P.M. Bosc, P. Garin, J.M. Yung, eds.), pp. 1-28. Documents Systèmes Agraires n° 17. CIRAD-SAR, Montpellier, France.
- Landon JR (1991). "Booker Tropical Soil Manual". Longman Scientific and Technical, New York.
- Le Houérou HN (1992). Relation entre la variabilité des précipitations et celle des productions primaire et secondaire en zone aride. In "L'aridité : une contrainte au développement." (E. Floc'h, M. Grouzis, A. Cornet, eds.), pp. 197-220. ORSTOM, Paris.
- Le Thiec G (1992). Expérimentation et mise au point d'outils à traction animale en zones semi-arides et amélioration des dispositifs d'attelage. Rapport n° 1992/16. CIRAD-SAR, Montpellier, France.
- Lhoste P (1987). "L'association agriculture-élevage. Évolution du système agro-pastoral au Sine Saloum (Sénégal)". Études et synthèses n° 21. IEMVT, Paris.
- Lombard J (1989). La gestion des réserves vivrières en pays serer. In "Le risque en agriculture" (M. Eldin, P. Milleville, eds.), pp. 165-173. ORSTOM, Paris.
- Munzinger P (1982). "La traction animale en Afrique". GTZ, Eschborn, Allemagne.
- Nicou R, Ouattara B, Some L (1990). Effets des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières (sorgho, maïs, mil) au Burkina Faso. *Agron. Trop.* 45 (1), 43-57.
- Pichot J, Sedogo MP, Poulain JF, Arrivets J (1981). Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques. *Agron. Trop.* 36 (2), 122-133.
- Piéri C (1989). "Fertilité des terres de savanes". Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT, Paris.
- Piriaux M, Buldgen A, Drugment F, Fall M, Compère R (1996). Adaptations des stratégies paysannes aux risques climatiques et à la pression démographique en région sahélo-soudanienne sénégalaise. *Cah. Agric.* 5, 99-108.
- Sivakumar MVK (1991). "Durée et fréquence des périodes sèches en Afrique de l'Ouest". Bull. de recherche n° 13. ICRISAT, Niamey, Niger.
- Some L (1989). Diagnostic agropédologique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Étude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance pour les cultures de sorgho, de mil et de maïs. Thèse Doct. Sci. agron., Université de Montpellier, Montpellier, France.
- Stancioff A, Staljanssens M, Tappan G (1986). "Cartographie et télédétection des ressources de la république du Sénégal". Direction de l'Aménagement du Territoire, Dakar.
- Zante M (1982). "Étude des sols de l'Institut National de Développement rural (Thiès)". ORSTOM, Dakar.